

пература нагрева газоносителя t_1 и давление $p_{\text{фо}}$ в фурменном очаге являются параметрами, которые определяют закономерности истечения пылеугольного топлива в фурменную зону доменной печи.

ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА ЧАСТИЦ И ИХ ФОРМЫ НА СКОРОСТЬ ИСТЕКАЮЩЕГО В ФУРМЕННЫЙ ОЧАГ ИЗ ТОПЛИВНОЙ ФОРСУНКИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ФАКЕЛА

Ю.А. Зинченко, Н.В. Косолап, ПАО «ММК им. Ильича»

В настоящее время, когда внедряется ПУТ-технология на ММК им. Ильича, через ~100 топливных форсунок в фурменный очаг будут подавать ~2800 т/сутки пылеугольного топлива. Полнота сгорания частичек топлива будет существенно зависеть от организации пылеугольного факела, истекающего в фурменную зону.

В доменном цехе ММК им. Ильича подача угольной пыли осуществляется не через трубку, расположенную в фурме горячего дутья 1, а через отдельно установленную форсунку 2, часть которой (~600 мм) входит в фурменный очаг (рис.1). Эта часть трубки печи охлаждается газовзвесью, которая воспринимает теплоту от стенки форсунки и, тем самым, разогревается.

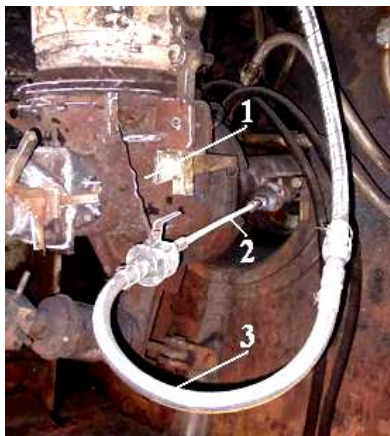


Рис 1. Установка форсунки для подачи пылеугольного топлива в фурменный очаг.

1- фурма горячего дутья; 2- форсунка для подачи пылеугольного топлива в фурменную зону; 3-гибкий резиноканевый рукав

Цель настоящей работы – исследование влияния диаметра частиц δ и температуры t_1 в выходном сечении разогретого несущего газа на изменение давления p , скорости газа w_1 , частиц w_2 и местную объемную долю ε_2 порошка как по длине форсунки l , так и в выходном её сечении.

Система уравнений изотермического двухфазного течения представляется в следующем виде [1]:

– уравнение движения несущего газа

$$-\varepsilon_1 \frac{dp}{dx} = G_1 \frac{dw_1}{dx} - F_{1w} - F_{12} + \varepsilon_1 \rho_1 g ;$$

– уравнение неразрывности для каждой из фаз и состояния для газовой фазы

$$G_1 = \varepsilon_1 \rho_1 w_1 ; G_2 = \varepsilon_2 \rho_2 w_2 ; p = \rho_l R_l T_l ;$$

– уравнение совместного движения фаз

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 1.$$

В двухскоростной модели для квадратичной области сопротивления силу межфазного взаимодействия определяли как

$$F_{12} = \beta_F (w_1 - w_2) \varepsilon_2 (1 + 0,179 \sqrt{Re_{12}} + 0,013 Re),$$

где величину, обратную времени релаксации стоксовой частицы, характеризующую её инерционные свойства, находили как

$$\beta_F = \frac{18 \mu K_\phi}{(\delta^2 \rho_2)} .$$

Для принятого класса течений ($1 < Re_{12} < 800$) коэффициент аэродинамического сопротивления можно рассчитать с учётом объёмной доли ε_l , а также с учётом скольжения фаз:

$$C_D = C_D^0 \varepsilon_l^{-2n}, \quad n = 2,25 - 4,5 .$$

Потери импульса газа и частиц на трение о стенку трубы считали раздельно по фазам

$$F_{1w} = \zeta_1 \varepsilon_1 \rho_1 w_1^2 / (2D) .$$

Коэффициент потерь на трение газа находили по формуле

$$\zeta_1 = 0,3164 / Re_l^{0,25}, \quad Re_l = \frac{w_l D \rho_l}{\mu_l} .$$

Исходные данные. В расчетах принимали, что длина форсунки $l = 2,15$ м, внутренний диаметр $D = 12$ мм. Расход несущего газа (азот N_2) был равен $V_n = 18$ м³/ч, расход порошка составлял $m_2 = 22,5$ кг/мин чему соответствовала концентрация порошка $\mu = 60$ кг/кг. Диаметр частиц был равен $\delta = 0,1$ мм. Принимали, что коэффициент формы частиц равен $f = 1,3$, абсолютное давление в фурменном очаге $p_{ф.о.} = 0,278$ МПа, а плотность угольного порошка $\rho_2 = 1700$ кг/м³.

Чем ниже дисперсность угольного порошка (меньше размер частиц), тем при одном и том же расходе угля больше частиц в газовзвеси. Например, если раздробить частицу диаметром $\delta = 0,3$ мм, то из неё

получится диаметром $\delta = 0,01$ мм число частиц $z = \delta^3_{0,3} / \delta^3_{0,01} = 27$ тыс. штук. С увеличением поверхности трения при снижении δ с 0,3 мм до 0,01 мм давление p на входе в форсунку возрастает с 0,35 МПа до 0,45 МПа (рис.2).

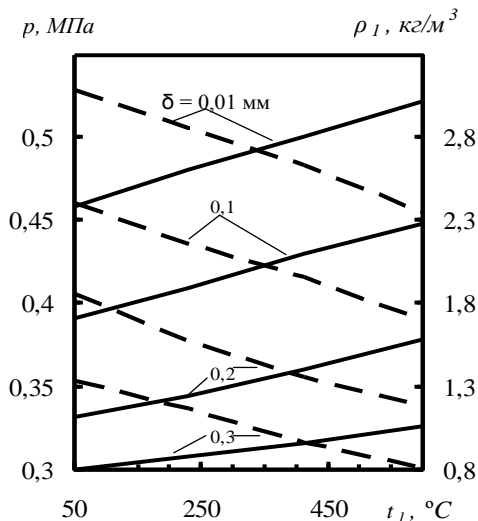
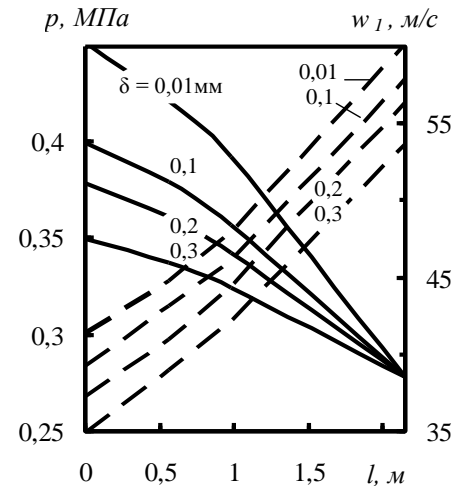


Рис.2. Распределение давления p (—) и скорости азота w_I (---) по длине форсунки l при различном диаметре частиц δ

Из рис. 3 следует, что эквивалентный диаметр δ частиц порошка существенно влияет на давление p перед форсункой. Если δ снижается, то при одном и том же расходе угля m_2 существенно возрастает межфазная поверхность. Как следует из результатов расчета (рис. 3), уменьшение δ , например, с 0,3 мм до 0,01 мм приводит к увеличению поверхности трения в 900 раз. Увеличение поверхности трения вызывает необходимость повысить давление p на входе с 0,3 МПа при $t_1 = 50^\circ\text{C}$ ($\delta = 0,3$ мм) до 0,46 МПа ($\delta = 0,01$ мм), и с 0,33 МПа до 0,52 МПа при $t_1 = 600^\circ\text{C}$.

Рис.3. Изменение давления p (—), плотности несущего газа ρ_I (---) в зависимости диаметра частиц δ и температуры t_I в выходном

сечении фурмы. Исходные данные: $D = 12$ мм; $l = 2,15$ м, $m_2 = 22,5$ кг/мин, $\mu = 60$ кг/кг, $V_n = 18$ м³/ч, $f = 1,3$

Если в выходном сечении температура несущего газа повысится до $t_1 = 600^\circ\text{C}$, то давление p увеличится с $0,33 \text{ МПа}$ ($\delta = 0,3 \text{ мм}$) до $0,52 \text{ МПа}$ ($\delta = 0,01 \text{ мм}$).

Одной из самых представительных характеристик газопорошкового потока является местная объёмная доля твёрдой фазы $\varepsilon_2 = V_1 / (V_1 + V_2)$.

Если дисперсность порошка возрастает, то давление p и плотность газовой фазы ρ_1 снижается и, как следует из формулы для объёмной доли твёрдой фазы

$$\varepsilon_2 = \left(1 + \frac{\psi}{\mu} \frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{-1}, \quad \varepsilon_2 \text{ снижается (рис. 3). Как следует из уравнения}$$

неразрывности для твёрдой фазы $m_2 = \varepsilon_2 \rho_2 w_2 S_2 = \text{const}$, с уменьшением ε_2 скорость частиц w_2 возрастает.

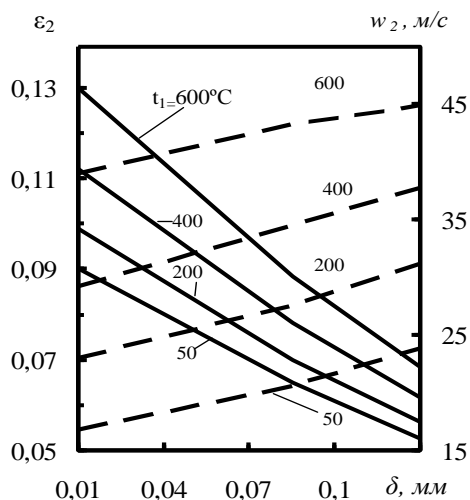


Рис. 4 Влияние диаметра частиц δ (—) и температуры несущего газа t_1 на объёмную долю твёрдой фазы ε_2 и скорость истечения частиц w_2 угольного порошка. Исходные данные: $D = 12 \text{ мм}$; $l = 2,15 \text{ м}$, $m_2 = 22,5 \text{ кг/мин}$, $\delta = 0,1 \text{ мм}$, $\mu = 60 \text{ кг/кг}$, $V = 18 \text{ м}^3/\text{ч}$, $f = 1,3$

Исследованиями установлено, что на пылеугольных форсунках доменных печей № 1,3-5 “ММК им. Ильича” при изменении расхода порошка в диапазоне $m_2 = 7,5\text{--}30 \text{ кг/мин}$ скорость истечения частиц угля остаётся умеренной и находится в пределах $w_2 = 48\text{--}22 \text{ м/с}$.

Литература

1. Косолап Н.В., Харлашин П.С., Куземко Р.Д. Моделирование подачи высокоплотного потока угольной пыли в доменную печь.—2011.—№12.—С.47-52.